

Gravitációs lencsék

Távcsövek a végtelenbe (?)

Egy kis csillagásztörténet

Csillagászat. Ősrégi tudomány. Ez nem meglepő, hiszen az embert mindig is érdekelt az őt körülvevő környezet: lakóhelye, városa, országa, a Föld és persze a Világminőség is. Már az őskori ember is figyelte az égbolton lejátszódó különféle – számára még csodálatos – jelenségeket, megmagyarázni azonban még nem tudta őket. Az ókorban aztán – a kereskedelem megindulásával – a csillagászat, a csillagok ismerete fontossá vált a tájékozódáshoz. Ekkor kezdődött el a csillagászati jelenségek okainak keresése. Az ókori kínai, babilóniai, egyiptomi és görög tudósok már igen jelentős eredményeket értek el néhány dologban. Meghatározták például a Föld kerületét (*Eratoszthenész*), a Hold és a Nap viszonylagos távolságát (*Arisztarkhosz* – ő még elég pontatlan eredményt kapott, de abból is látszott, hogy a Nap sokkal távolabb van tőlünk mint állandó kísérőnk: a Hold), és *Ptolemaiosz* megalkotta a geocentrikus világképet. Tehát már az ókorban is igen nagy volt az érdeklődés a csillagászat iránt. Az akkori tudással azonban – megfelelő eszközök nélkül – Világegyetemünknek csak egy igen kis részét ismerhették meg a tudósok. Őt bolygón (Merkúr, Vénusz, Föld, Mars, Jupiter), a Napon, és a Holdon kívül más naprendszerbeli égitestet nem ismertek, a csillagokról pedig szinte semmit sem tudtak.

Ez a tudás a sötétnek nevezett közép-korban semmit sem fejlődött. Hogy mégis fennmaradtak ezek az eredmények az az araboknak köszönhető, akik szorgalmasan átmásolták a régi agyagtáblákat. Az egyház tanításainak tökéletesen megfelelt az ókorban létrejött világkép, épp ezért elszántan üldözte azokat a tudósokat, akik valami mást, újat fedeztek fel a csillagászatban (*Galileo*

Galilei, Giordano Bruno stb.). Új felfedezések pedig voltak. Köszönhető ez egyrészt annak, hogy *Galilei* felfedezte a távcsövet. A távcső segítségével jobban fel tudták térképezni Naprendszerünket: megfigyelték, hogy a Jupiter körül is keringenek holdak, hogy a Napon foltok vannak stb. Ezek a megfigyelések azt jelentették, hogy a Világ mégsem olyan tökéletes mint gondolták, az addigi csillagászati ismereteik nem egészen pontosak, van még mit javítani rajtuk. Ekkor kezdődött el egy igen gyors ütemű fejlődés ebben a tudományban. Az egyre jobban tökétesedő távcsövekkel lassan megismertük Naprendszerünk teljes felépítését, Galaxisunk szerkezetét, és más, távoli galaxisokat is. A századunk elején kialakult rádiócsillagászat segítségével pedig az optikai tartományban nem látható, ám mégis létező sugárzásokat is tudták, tudjuk detektálni (infravörös, ultraibolya, rádió, röntgenhullámok stb.).

Így felmerülhet a kérdés, hogy korunkban létezhetnek-e még olyan objektumok, égitestek amelyekről ne lenne tudomásunk? A válasz: igen, sőt feltételes mód nélkül mondhatjuk, hogy léteznek is, hiszen a távcsövek felbontóképesége véges, s így az igen távoli objektumokat már nem tudjuk pontosan, részleteikben észlelni (pl. kvazárok). Ezenkívül léteznek olyan égitestek is melyek sem optikai-, sem rádiótartományban nem – vagy alig – sugároznak. Létezésükről bizonyítékaink vannak (ld. később: a sötét, vagy láthatatlan anyag problémája), észlelni azonban mégsem tudjuk őket. Ezek a problémák sokáig megoldás nélkül hanykolódtak különféle elméletek sodrásában a tudomány végtelen tengerén, mígnem egy, a napjainkban létrejött elmélet adta lehetőség segítségével felmerült egy módszer, amellyel esetleg detektálni tudnánk ezeket az objektumokat is.

Ez a lehetőség az ún. *gravitációs lencse-effektus* néven ismert csillagászati jelenség.

Gravitációs lencsék

Mi is ez az effektus? Már *Albert Einstein* megjósolta általános relativitáselméletében, hogy a nagy tömegek közelében elhaladó fénysugár eltérül. Az eltérést a nagy tömeg által létrehozott térgörbület okozza. Ezt a jóslatát először, 1919-ben, *Sir Arthur Eddington* igazolta (a hibahatáron belül) egy napfogyatkozás alkalmával. Kimutatta, hogy a Nap irányában levő csillagok a Nap centrumától távolabb látszanak mint ahol valójában lenniük kellene. A Nap esetében a „felszínéhez közel” elhaladó fénysugárra ez az eltérés 1,75 ívmásodperc. Lényegében minden olyan objektumot, amely – optikai lencseként működve – fénytérülést okoz, *gravitációs lencsének* nevezünk, magát a jelenséget pedig *gravitációs lencse-effektusnak* hívjuk. A gravitációs lencsét tömegük alapján két csoportra oszthatjuk: 10^{12} – 10^{14} naptömeg között: *gravitációs makrolencsék*, 10^{-6} – 10^6 naptömeg között: *gravitációs mikrolencsék*. A makrolencsék segítségével a kvazárok, távoli galaxisok szerkezetét ismerhetjük meg jobban, a mikrolencsék pedig a Tejútrendszerben levő sötét anyagról adhatnak információt. Olyan természetes szupertávcsőként foghatjuk fel tehát őket, melyek egyrészt az igen távoli objektumokról adnak részletes képeket, másrészt a számunkra láthatatlan anyagot tárják fel előttünk. Vizsgáljuk először a makrolencse-rendszereket!

Gravitációs makrolencsék

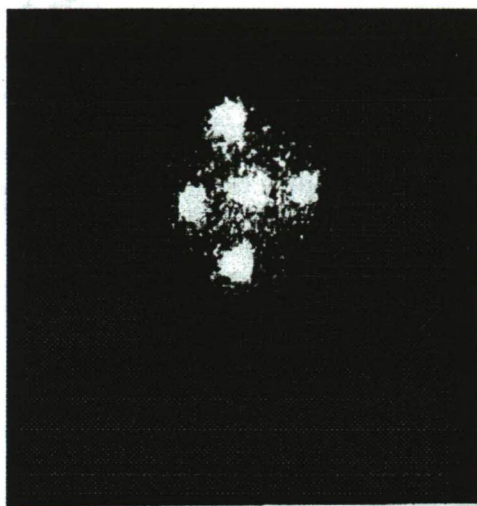
Hogyan is néz ki egy ilyen rendszer? Maga a lencse – a fent említett tömeghatároknak megfelelően – egy távoli galaxis, vagy kvazár, amely a mögötte elhelyezkedő kvazárról ad különféle képet, képeket. A keletkező képek többféle módon jelennek meg aztán az égbolton: lehetnek torzítottak, állhatnak ívekből, sőt elég gyakori a kettő

vagy több komponensből álló kép is. A lencse-effektust, *Einstein* elméletének megszületése után, több csillagász gyakorlatban is igazolni akarta, ám ez sokáig nem sikerült nekik. Az első olyan kvazárt (Q 0957 + 561), amelyről teljes bizonyossággal el lehetett mondani, hogy lencsehatás okozta képről van szó. 1979-ben találták a Nagy Medve csillagképben. Azóta napjainkig már több – addig úgymond „valódinak” hitt – kvazárról illetve galaxisról derült ki, hogy csak kép. Ha az objektumból ívek, gyűrűk láthatók akkor világos, hogy lencsehatással keletkezett képről van szó. Különböző, többes objektumokról azonban csak úgy dönthető el, hogy egy objektum több képéről van-e szó, vagy esetleg más-más égitestről, ha elvégezzük az objektumok szinképelemzését. Eltérő szinképeredményeknél nyilvánvaló, hogy nem lencseképek az adott égitestek, ha viszont a szinképek hasonlítanak akkor már lehetséges a lencse-effektus. A jelenség tanulmányozása nagy horderejű csillagászati problémákra adhat választ. Felvetődött ugyanis az a feltevés, hogy a képek fontos kozmológiai információkat tartalmaznak, megfigyelésükkel választ kaphatunk esetleg a Világegyetem keletkezésével kapcsolatos kérdéseinkre. Másrészt pontosabban megismerhetjük a kvazárok felépítését, belső szerkezetét, amire eddig csak homályos feltevéseink voltak. Egy másik fontos dolog, amihez a lencse-effektus nyújt segítséget, az maga a lencseobjektum szerkezetének pontosabb megismerése. A létrejövő képek különféle alakjait, torzultságát ugyanis a lencseként működő galaxis szabálytalan tömegeloszlása okozza. A képek alakjaiból tehát vissza lehet következtetni a lencse tömegeloszlására is. Megállapítható tehát, hogy a létrehozott gyönyörű csillagászati képződményeken kívül (*Einstein-gyűrű*, *Einstein-kereszt* [ld. ábra]), a makrolencsehatás választ adhat régi keletű, igen fontos problémákra is.

A sötét anyag problémája, gravitációs mikrolencsék

Csillagászati kérdések megválaszolásában a lencsék kisebb tömegű csoportja sem marad le nagytömegűeitől. Ezek az ún. mikrolencsék. A mikrolencsejelenség a sötét vagy láthatatlan anyag problémáját oldhatja meg. Mi is ez a probléma? Közismert, hogy az ismert galaxisokban – a Tejútrendszerben is – a látható objektumok (csillagok, csillagközi anyag, stb.) tömege csak kb. 10 százaléka annak a tömegnek, amely szükséges lenne egy-egy ilyen galaxis összetartásához. A fennmaradó 90% -ról nem tudunk semmit, csak találgatják, hogy mi is lehet ez az anyag? Két lehetséges előfordulási forma volt a legvalószínűbb. Az egyik magyarázat szerint ezt a sötét anyagot mikroszkopikus, számunkra még ismeretlen részecskék alkotják. Angol nevük WIMPs (*Weakly Interacting Massive Particles* – gyengén kölcsönható nehéz részecskék), ezek lehetnek pl. axionok, neutrínók. A másik lehetséges előfordulási mód a MACHO (*MAssive Compact Halo Object* – masszív, kompakt haló objektum), pl. vörös törpék, barna törpék, neutroncsillagok, esetleg miniatűr fekete lyukak. A két különböző elmélet mellett kardoskodó tudósok azonban gyakorlati bizonyítékokkal nem tudtak előállni állításuk igazolására. A vita eldöntésére javasolta aztán *Bohdan Paczynski*, Amerikában élő lengyel csillagász, azt az ötletet, hogy a mikrolencsehatást megfigyelve esetleg szerezhetünk információkat erről a sötét anyagról. Ő egyébként kezdettől a MACHO elméletet tartotta elfogadhatóbbnak. Nézzük most magát a mikrolencse-effektust.

Ebben az esetben tehát a lencseobjektum már nem galaxis méretű, pontszerűnek tekinthető fel. Ezek az égitestek térítik, térítik el egy, a háttérben levő csillag fényét.



Gravitational Lens G2237+0305

Az ún. Einstein-kereszt: a középen levő objektum a háttérben levő kvazárról négy képet ad

Az így keletkező képek olyan közel helyezkednek el egymáshoz képest az égbolton (kevesebb mint 1 ezred ívmásodpercre), hogy legjobb távcsöveinkkel sem tudjuk megkülönböztetni őket. A jelenség mégis észlelhető, mégpedig a lencseobjektum fókuszáló hatása miatt. A mikrolencse-effektus a következőképpen játszódik le: ha egy távoli csillag és a Föld között elhalad egy ilyen láthatatlan égitest, akkor ez az égitest a csillag fényét a Földre fókuszálhatja, s így a háttércsillag fényességében növekedés észlelhető. Ez a fényességnövekedés már jól megfigyelhető. A növekedés mértéke a háttércsillag, a lencseobjektum és a Föld egymáshoz viszonyított helyzetétől függ. Ha pontosan egyvonalban vannak, akkor az ún. *Einstein-gyűrű* jön létre. Az effektus lezajlásából következik, hogy a felfényesedést a következő három tulajdonság jellemzi:

- nem ismétlődő, egyszeri
- időben szimmetrikus

- akromatikus (minden színtartományban ugyanolyan mértékű a növekedés)

Ezek az ismérvek különböztetik meg a mikrolencsejelenségeket más, változócsillagok által mutatott fényességváltozásoktól. A feladat tehát adva volt: csillagok milliárdjait megfigyelve keresni kell olyan csillagokat amelyeknél ilyen felfényesedés tapasztalható. Három kutatócsoport alakult, melyek más-más irányban vizsgálták, vizsgálják az égboltot. Két project a Magellán Felhők, egy pedig a Tejútrendszer központi része felé található csillagokat figyeli. A mai napig 47 olyan esetet találtak melyeknél szinte biztos, hogy mikrolencsehatás okozta a felfényesedést. Ezzel az eredménnyel bebizonyosodott, hogy a Tejútrendszer halójában valóban létezik valamilyen sötét anyag. A fényességnövekedés időtartamából, a háttércsillag és a lencseobjektum feltételezett távolságából becslést lehet tenni a sötét anyag tömegére, a kapott tömegeredményekből pedig következtetéseket lehet levonni ezen anyag mibenlétéről. A megfigyelésekből kapott számítások a MACHO elméletet igazolják. A legvalószínűbb, hogy barna- illetve vörös törpecsillagok alkotják Galaxisunk túlnyomó részét. A pontosabb eredményekhez azonban jóval több csillag megfigyelése kell. A kutatások folynak, így hónapok, évek múlva biztos, hogy többet fogunk tudni magáról a lencsejelenségről, és a sötét anyagról is. Igen érdekes jelenség alakul ki akkor ha vagy a lencse, vagy a háttércsillag kettősrendszer tagja (ez nem ritka, hiszen az ismert csillagok több mint a fele kettős). Ebben az esetben a fényességnövekedés görbéjében két maximum

keletkezik. Egy ilyen esetet találtak eddig, de valószínű, hogy egyre nagyobb számban fognak előfordulni ilyen felfényesedések is. A mikrolencse-effektus kutatásának van egy fontos mellékterméke is. A több milliárd csillag feltérképezése közben ugyanis rengeteg változót találtak. Ezek között vannak eddig még ismeretlen típusúak is. Másrészt több ezer – eddig nem vizsgált – csillagot azonosítottak és soroltak be ismert változócsillag-katalógusokba.

Mind a makro- mind a mikrolencséről való ismereteket összefoglalva megállapítható, hogy a lencse-effektus a következő években a csillagászat egy igen érdekes és fontos részévé válhat. Addig azonban még rengeteg munkát kell végezni. És ez a munka nem lesz könnyű. Sőt. Nehéz lesz. Nagyon nehéz.

Perák József Zoltán

Irodalom

- Mateo, M.: 1994, Searching for dark matter, *Sky and Telescope*, 1994 jan. p.20.
- Paczynski, B.-Wambsganss, J.: 1993, Gravitational microlensing, *Physics World*, 1993 May p.26.
- Udalski, A. et al.: 1992, The Optical Gravitational Lensing Experiment, *Acta Astronomica* 42, p 253.
- Szatmáry Károly: Barna törpe csillagok mint gravitációs lencsék, *Csillagászati Évkönyv*, 1994. 128. o.
- Tóth Gábor: Gravitációs mikrolencsék és a sötét anyag, *Természet Világa* 1994. ápr. 179. o.
- Turner, E. L.: Gravitációs lencsék, *Tudomány* 1988. szept. 18. o.